

## REQUISITOS DE SEGURIDAD Y SERVICIO DE LAS ESTRUCTURAS

### 1 GENERALIDADES

#### 1.1 Alcance

Los requisitos de seguridad y servicio que deben cumplir las estructuras se aplicarán a las construcciones nuevas, modificaciones, ampliaciones o demoliciones de las obras a las que se refiere este Reglamento.

#### 1.2 Notación

A	área tributaria, m <sup>2</sup>
C <sub>t</sub>	coeficiente de dilatación térmica
E	módulo de elasticidad, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
FC	factor de carga
W (kg/m <sup>2</sup> )	carga viva unitaria media, kN/m <sup>2</sup>
W <sub>a</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	carga viva unitaria instantánea, kN/m <sup>2</sup>
W <sub>m</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	carga viva unitaria máxima, kN/m <sup>2</sup>
Δ t Kelvin (° C)	incremento de temperatura, grados
ν	relación de Poisson

### 2 ACCIONES DE DISEÑO

#### 2.1 Criterio para considerar las acciones

En el diseño de una estructura deberá considerarse el efecto de todas las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente.

Para la formación de las combinaciones de acciones que deben considerarse en la revisión de la estructura, para la determinación de las intensidades nominales y para el cálculo de los efectos de las acciones en la estructura, deberán seguirse las prescripciones del capítulo III del Reglamento.

#### 2.2 Clasificación de las acciones

Se considerarán tres categorías de acciones de acuerdo con la duración en que obran sobre la estructura con su intensidad máxima.

- I. **Acciones permanentes.** Son las que obra en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad puede considerarse que no varía con el tiempo.
- II. **Acciones variables.** Son aquellas que obran sobre la estructura con una intensidad variable en el tiempo.
- III. **Acciones accidentales.** Son las que no se deben al funcionamiento propio de la construcción y que pueden alcanzar valores significativos solo durante lapsos breves.

##### 2.2.1 Acciones Permanentes:

Esta categoría comprenderá:

- I. La carga muerta, debida al peso propio de los elementos estructurales y al peso de los elementos no estructurales incluyendo las instalaciones, al peso del equipo que ocupe una posición fija y permanente en la construcción, y al peso estimado de futuros muros divisorios y de otros elementos no estructurales que puedan colocarse posteriormente. Su efecto se tomará en cuenta en la forma que se especifica en el Reglamento.
- II. El empuje estático de tierras y de líquidos, de carácter permanente.
- III. Las deformaciones y los desplazamientos impuestos a la estructura tales como los debidos a preesfuerzo o a movimientos diferenciales permanentes de los apoyos.

##### 2.2.2 Acciones Variables

Esta Categoría comprenderá:

- I. La carga viva, que representa las fuerzas gravitacionales que obran en la construcción y que no tienen carácter permanente. Su efecto se tomará en cuenta en la forma que se especifica en el Reglamento.
- II. Los efectos causados en las estructuras por los cambios de temperatura y por contracciones.

III. Las deformaciones impuestas y los hundimientos diferenciales que tengan una intensidad variable con el tiempo.

IV. Los efectos de maquinaria y equipo, incluyendo, cuando sean significativas, las acciones dinámicas que el funcionamiento de máquinas induzca en las estructuras debido a vibraciones, impacto y frenaje.

De acuerdo con la combinación de acciones para la cual se esté diseñando, cada acción variable se tomará con tres posibles intensidades:

I. Intensidad media, cuyo valor nominal se sumará al de las acciones permanentes, para estimar efectos a largo plazo.

II. Intensidad instantánea, cuyo valor nominal se empleará para combinaciones que incluyan acciones permanentes y accidentales.

III. Intensidad máxima, cuyo valor nominal se empleará en combinaciones que incluyan exclusivamente acciones permanentes.

Los valores nominales a que se refieren los tres párrafos anteriores se definen en el Reglamento.

#### 2.2.3 Acciones Accidentales

Se considerarán acciones accidentales las siguientes:

**Viento.** Las acciones estáticas y dinámicas debidas al viento se determinarán en la forma que se especifica en el Reglamento.

**Otras acciones accidentales.** Estas serán explosiones, incendios y otras acciones que puedan ocurrir en casos extraordinarios. En general no será necesario incluirlas en el diseño formal, sino únicamente tomar precauciones, en la estructuración y en los detalles constructivos, para evitar comportamientos catastróficos de la construcción en casos de ocurrir tales acciones.

#### 2.3 Determinación de los efectos de las acciones

Las fuerzas internas y las deformaciones producidas por las acciones en las estructuras se determinarán mediante un análisis estructural.

En las Normas Técnicas Complementarias se especificarán procedimientos de análisis para distintos materiales y sistemas estructurales, congruentes con los factores de carga y de resistencia fijados en el capítulo III del Reglamento. Podrán admitirse métodos de análisis con distintos grados de aproximación, siempre que su falta de precisión en la determinación de las fuerzas

internas se tome en cuenta, modificando adecuadamente los factores de carga especificados en el Reglamento de manera que se obtenga una seguridad equivalente a la que se alcanzaría con los métodos especificados.

#### 2.4 Criterio general para determinar la intensidad nominal de las acciones no especificadas.

Cuando deba considerarse en el diseño el efecto de acciones cuyas intensidades no estén especificadas en este Reglamento ni en sus Normas Técnicas Complementarias, estas intensidades deberán establecerse siguiendo procedimientos aprobados por la Administración y con base en los criterios generales siguientes:

I. Para acciones permanentes se tomará en cuenta la variabilidad de las dimensiones de los elementos, de los pesos volumétricos y de las otras propiedades relevantes de los materiales, para determinar un valor máximo probable de la intensidad. Cuando el efecto de la acción permanente sea favorable a la estabilidad de la estructura, se determinará un valor mínimo probable de la intensidad;

II. Para acciones variables se determinarán las intensidades siguientes que correspondan a las combinaciones de acciones para las que deba revisarse la estructura:

1) La intensidad máxima se determinará como el valor máximo probable durante la vida esperada de la edificación. Se empleará para combinación con los efectos de acciones permanentes;

2) La intensidad instantánea se determinará como el valor máximo probable en el lapso en que pueda presentarse una acción accidental, como el sismo, y se empleará para combinaciones que incluyan acciones accidentales o más de una acción variable;

3) La intensidad media se estimará como el valor medio que puede tomar la acción en un lapso de varios años y se empleará para estimar efectos a largo plazo; y

4) La intensidad mínima se empleará cuando el efecto de la acción sea favorable a la estabilidad de la estructura y se tomará, en general, igual a cero.

III. Para las acciones accidentales se considerará como intensidad de diseño el valor que corresponde a un periodo de retorno de cincuenta años.

Las intensidades supuestas para las acciones no especificadas deberán justificarse en la memoria de cálculo y consignarse en los planos estructurales.

### 2.5 Combinaciones de acciones

La seguridad de una estructura deberá verificarse para el efecto combinado de todas las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente.

Se considerarán dos categorías de combinaciones:

- I. Combinaciones que incluyan acciones permanentes y acciones variables. Se considerarán todas las acciones permanentes que actúen sobre la estructura y las distintas acciones variables, de las cuales la más desfavorable se tomará con su intensidad máxima y el resto con su intensidad instantánea, o bien todas ellas con su intensidad media cuando se trate de evaluar efectos a largo plazo.

Para este tipo de combinación deberán revisarse todos los posibles estados límites, tanto de falla como de servicio.

Entran en este tipo de combinación la de carga muerta más carga viva. Se empleará en este caso la intensidad máxima de la carga viva del Reglamento, considerándola uniformemente repartida sobre toda el área. Cuneado se tomen en cuenta distribuciones más desfavorables de la carga viva, deberán tomarse los valores de la intensidad instantánea indicados en el Reglamento y las Normas Técnicas Complementarias.

- II. Combinaciones que incluyan acciones permanentes, variables y accidentales. Se considerarán todas las acciones permanentes, las acciones variables con sus valores instantáneos y únicamente una acción accidental en cada combinación.

En ambos tipos de combinación todas las acciones se tomarán con sus intensidades nominales, y sus efectos deberán multiplicarse por los factores de carga apropiados de acuerdo con el Reglamento.

## 3 ESTADOS LÍMITE

### 3.1 Definición

Para los efectos del Reglamento se entenderá por estado límite aquella etapa del comportamiento a partir de la cual una estructura, o parte de ella, deja

de cumplir con alguna función para la que fue proyectada.

### 3.2 Clasificación

Se considerarán dos categorías de estados límite: los de falla y los de servicio; los primeros a su vez se subdividirán en estados de falla frágil y de falla dúctil.

Los estados límite de falla corresponderán al agotamiento definitivo de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus miembros o al hecho de que la estructura, sin agotar su capacidad de carga, sufra daños irreversibles que afecten su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga.

Se considerará que los estados límite corresponden a falla dúctil cuando la capacidad de carga de la sección elemento o estructura en cuestión, se mantenga para deformaciones apreciablemente mayores que las existentes al alcanzarse el estado límite. Se considerarán de falla frágil cuando la capacidad de carga de la sección, elemento o estructura en cuestión, se reduzca bruscamente al alcanzarse el estado límite.

Los estados límite de servicio tendrán lugar cuando la estructura llegue a estados de deformaciones, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten su correcto funcionamiento, pero no su capacidad para soportar cargas.

### 3.3 Estados límite de servicio

Deberá revisarse que, bajo el efecto de las combinaciones de acciones clasificadas en la categoría 1 del artículo 215 de este Reglamento, la respuesta de la estructura no exceda alguno de los límites fijados a continuación.

- I. **Deformaciones.** Se considerará como estado límite cualquier deformación de la estructura que ocasione daños inaceptables a la propia construcción o a sus vecinas, o que cause interferencia con el funcionamiento de equipos e instalaciones o con el adecuado drenaje de superficies y cualquier daño o interferencia a instalaciones de servicio público.

Adicionalmente se considerarán los siguientes límites:

Una flecha vertical, incluyendo los efectos a largo plazo, igual a 0.5 cm, más el claro entre 240. Además, para miembros cuyas deformaciones afecten elementos no estructurales, como muros de mampostería, que no sean capaces de soportar deformaciones apreciables, se considerará

como estado límite una flexión, medida después de la colocación de los elementos no estructurales, igual a 0.3 cm, más el claro entre 480.

Una flexión horizontal entre dos niveles sucesivos de una estructura igual a 1/250 de la altura del entrepiso, para estructuras que no tengan ligados elementos no estructurales que puedan dañarse con pequeñas deformaciones, e igual a 1/500 de la altura del entrepiso para otros casos.

- II. **Vibraciones.** Se considerará como estado límite cualquier vibración que afecte el funcionamiento de la construcción o que produzca molestias o sensación de inseguridad a los ocupantes.
- III. **Otros daños.** Se considerará como estado límite de servicio la ocurrencia de grietas, desprendimientos, astillamientos, aplastamientos, torceduras, y otros daños locales que afecten el funcionamiento de la construcción.

Las magnitudes de los distintos daños que deberán considerarse como estados límite, serán definidas por las Normas Técnicas Complementarias relativas a los distintos materiales o, en su defecto, serán fijadas por la Dirección.

Para el diseño de cimentaciones y excavaciones, se cumplirá con los requisitos de la Norma técnica de Diseño y Construcción de Cimentaciones, relativos a estados límite de servicio.

## 4 RESISTENCIA

### 4.1 Definición

Se entenderá por resistencia la magnitud de una acción, o de una combinación de acciones, que provocaría la aparición de un estado límite de falla en la estructura. Cuando la determinación de la resistencia de una sección se haga en forma analítica, se expresará en términos de la fuerza interna o de la combinación de fuerzas internas producidas por las acciones. Se entenderá por fuerzas internas las fuerzas axiales y cortantes y los momentos de flexión y torsión que actúan en una sección de la estructura.

### 4.2 Resistencia de diseño

La revisión de la seguridad contra estados límite de falla se hará en términos de la resistencia de diseño.

Para la determinación de la resistencia de diseño deberán seguirse los procedimientos fijados en las Normas Técnicas Complementarias para los materiales y sistemas constructivos más comunes.

En casos no comprendidos en las disposiciones mencionadas, la resistencia de diseño se determinará con procedimientos analíticos basados en evidencia teórica y experimental, o con procedimientos experimentales de acuerdo con el Reglamento. En ambos casos, la resistencia de diseño se tomará igual a la resistencia nominal por el factor de resistencia determinado con base en lo que fija el Reglamento.

La resistencia nominal será tal que la probabilidad de que no sea alcanzada por la estructura resulte de dos por ciento. En la determinación de la resistencia nominal deberá tomarse en cuenta la variabilidad en las propiedades geométricas y mecánicas de la estructura y la diferencia entre los valores especificados para estas propiedades y los que se obtienen en la estructura. También deberá considerarse el grado de aproximación en la cuantificación de la resistencia.

Cuando se siga un procedimiento no estipulado en las Normas Técnicas Complementarias, el Departamento podrá exigir una verificación directa de la resistencia por medio de una prueba de carga realizada de acuerdo con lo que estipula el Reglamento.

### 4.3 Determinación de la resistencia por procedimientos experimentales

La determinación de la resistencia podrá llevarse a cabo por medio de ensayos diseñados para simular, en modelos físicos de la estructura o de porciones de ella, el efecto de las combinaciones de acciones que deban considerarse de acuerdo con el Reglamento.

Cuando se trate de estructuras o elementos estructurales que se produzcan en forma industrializada, los ensayos se harán sobre muestras de la producción o de prototipos. En otros casos, los ensayos podrán efectuarse sobre modelos de la estructura en cuestión.

La selección de las partes de la estructura que se ensayen y del sistema de carga que se aplique deberá hacerse de manera que se obtengan las

condiciones más desfavorables que puedan presentarse en la práctica pero tomando en cuenta la interacción con otros elementos estructurales.

Con base en los resultados de los ensayos, se deducirá una resistencia nominal tal que la probabilidad de que no sea alcanzada sea de dos por ciento, tomando en cuenta las posibles diferencias entre las propiedades mecánicas y geométricas medidas en los especímenes ensayados y las que puedan esperarse en las estructuras reales.

El tipo de ensayo, el tamaño de la muestra y la resistencia nominal deducida deberán ser aprobadas por el Departamento, quien podrá exigir una comprobación de la resistencia de la estructura mediante una prueba de carga de acuerdo con el Reglamento.

La resistencia de diseño se obtendrá a partir de la nominal, de acuerdo con el Reglamento.

## **5 PROCEDIMIENTO PARA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD**

### **5.1 Procedimiento General**

La estructura deberá revisarse para que cumpla con los fines para los que fue proyectada, asegurando que no se presente ningún estado de comportamiento que lo impida.

Se revisará que para las distintas combinaciones de acciones especificadas en el Reglamento, y ante la aparición de cualquier estado límite de falla que pudiera presentarse, la resistencia de diseño sea mayor o igual al efecto de las acciones nominales que intervengan en la combinación de cargas en estudio, multiplicado por el factor de carga correspondiente.

Para dicha revisión deberá emplearse el procedimiento que se describe en el Reglamento y además, deberá verificarse que, bajo el efecto de las acciones nominales, no se rebase algún estado límite de servicio.

También se revisará que bajo el efecto de las posibles combinaciones de acciones clasificadas en la categoría I, en el Reglamento, no se rebase ningún estado límite de servicio.

Cuando una estructura sufra daños en sus elementos por efectos de sismo, viento, explosiones, incendios, exceso de cargas

verticales, asentamientos, o alguna otra causa, deberá presentarse un proyecto de reparación o de refuerzo a la Dirección, quien podrá dictaminar sobre las disposiciones y criterios que deban aplicarse.

### **5.2 Procedimientos alternativos de diseño**

Se aceptarán procedimientos alternativos de diseño para la verificación de la seguridad si se demuestra que proporcionan niveles de seguridad equivalentes a los que se obtendrían aplicando el criterio establecido en el Reglamento, siempre y cuando sean previamente aprobados por la Dirección.

### **5.3 Factores de carga**

El factor de carga  $F_c$  se determinará como sigue:

- I. Para combinaciones que incluyan exclusivamente acciones permanentes y variables se tomará  $F_c = 1.4$ , excepto cuando se trate de estructuras que soporten pisos en los que pueda haber normalmente aglomeración de personas, tales como centros de reunión, escuelas, salas de espectáculos, locales para espectáculos deportivos y templos, o de construcciones que contengan equipo sumamente valioso, incluyendo los museos, en cuyo caso se tomará  $F_c = 1.5$ .
- II. Para combinaciones de acciones que incluyan una acción accidental, además, además de las acciones permanentes y variables, se tomará  $F_c = 1.1$ .
- III. Para acciones o fuerzas internas cuyo efecto sea favorable a la resistencia o estabilidad de la estructura, se tomará  $F_c = 0.9$ ; además, se tomará como valor nominal de la intensidad de la acción el valor mínimo probable de acuerdo con el Reglamento.
- IV. Para revisión de estados límite de servicio se tomará en todos los casos  $F_c = 1$ .

### **5.4 Factores de resistencia**

El factor de resistencia  $F_R$  por el cual deberá multiplicarse la resistencia nominal, será fijado por la Dirección en las Normas Técnicas Complementarias, con base en el tipo de estado límite para los distintos materiales y sistemas estructurales.

En casos no especificados por dichas Normas se obtendrá  $F_R$  de la siguiente manera, siendo  $C_R$  el coeficiente de variación de la resistencia.

- I. Para estados límite de falla dúctil:  $F_R = 1.25 - 1.4 C_R$ ; pero no mayor que 1.
- II. Para estados límite de falla frágil:  $F_R = 1.15 - 1.4 C_R$ ; pero no mayor que 0.9,
- III. Para cimentaciones y excavaciones los factores de resistencia se especifican en el artículo 268 de este Reglamento.

#### 5.4 Factores de carga para casos especiales

Para el diseño por viento y cargas accidentales, se requieren en algunos casos factores de carga distintos a los especificados en Reglamento. Dichos factores de carga se especifican en la Norma Técnica Complementaria correspondiente.

## 6 CARGAS PERMANENTES

### 6.1 Valores nominales

Para la evaluación de las cargas muertas se emplearán las dimensiones especificadas de los elementos constructivos y los pesos volumétricos de los materiales. Los valores mínimos probables se emplearán cuando sea más desfavorable para la estabilidad de la estructura considerar una carga muerta menor, como en el caso de flotación, lastre y succión producida por viento. En los otros casos se emplearán los valores máximos probables.

### 6.2 Carga muerta adicional para pisos de concreto

El peso muerto calculado de losas de concreto de peso normal coladas en el lugar se incrementará en 20 kg/m<sup>2</sup>. Cuando sobre una losa colada en el lugar o precolada, se coloque una capa de mortero de peso normal, el peso calculado de esta capa se incrementará también en 20 kg/m<sup>2</sup>; de manera que en losas coladas en el lugar que lleven una capa de mortero, el incremento total será de 40 kg/m<sup>2</sup>.

Tratándose de losas y capas de mortero que posean pesos volumétricos diferentes del normal, estos valores se modificarán en proporción a los pesos volumétricos.

Estos pesos no se aplican cuando el efecto de la carga muerta sea favorable a la estabilidad de la estructura.

### 6.3 Empujes estáticos de tierras y líquidos

Las fuerzas debidas al empuje estático de suelos se determinarán de acuerdo con lo establecido en

las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones.

Para evaluar el empuje de un líquido sobre la superficie de contacto con el recipiente que lo contiene se supondrá que la presión normal por unidad de área sobre un punto cualquiera de dicha superficie es igual al producto de la profundidad de dicho punto con respecto a la superficie libre del líquido por su peso volumétrico.

## 7 CARGAS VARIABLES

### 7.1 Cargas Vivas

Se considerarán cargas vivas las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen carácter permanente. A menos que se justifiquen racionalmente otros valores, estas cargas se tomarán iguales a las especificadas en la tabla 15 del Reglamento.

Las cargas especificadas no incluyen el peso de muros divisorios de mampostería o de otros materiales, ni el de muebles, equipos u objetos de peso fuera de lo común, como cajas fuertes de gran tamaño, archivos importantes, libreros pesados o cortinajes en salas de espectáculos. Cuando se prevean tales cargas deberán cuantificarse y tomarse en cuenta en el diseño en forma independiente de la carga viva especificada. Los valores adoptados deberán justificarse en la memoria de cálculo e indicarse en los planos estructurales.

Para la aplicación de las cargas vivas unitarias se deberá tomar en consideración las siguientes disposiciones:

- I. La carga viva máxima  $W_m$  se deberá emplear para diseño estructural por fuerzas gravitacionales y para calcular asentamientos inmediatos en suelos, así como para el diseño estructural de los cimientos ante cargas gravitacionales;
- II. La carga instantánea  $W_a$  se deberá usar para diseño sísmico y por viento y cuando se revisen distribuciones de carga más desfavorables que la uniformemente repartida sobre toda el área;
- III. La carga media  $W$  se deberá emplear en el cálculo de asentamientos diferidos y para el cálculo de flechas diferidas; y
- IV. Cuando el efecto de la carga viva sea favorable para la estabilidad de la estructura, como en el

caso de problemas de flotación, volteo y de succión por viento.

Las cargas uniformes de la tabla 15 se considerarán distribuidas sobre el área tributaria de cada elemento.

#### 7.1.1 Cargas vivas transitorias

Durante el proceso de edificación deberán considerarse las cargas vivas transitorias que puedan producirse. Éstas incluirán el peso de los materiales que se almacenen temporalmente, el de los vehículos y equipo, el de colado de plantas superiores que se apoyen en la planta que se analiza y del personal necesario, no siendo este último peso menor de 1.5 kN/m<sup>2</sup> (150 kg/m<sup>2</sup>). Se considerará, además, una concentración de 1.5 kN (150 kg) en el lugar más desfavorable.

#### 7.1.2 Cambios de uso

El propietario o poseedor será responsable de los perjuicios que ocasione el cambio de uso de una edificación, cuando produzca cargas muertas o vivas mayores o con una distribución más desfavorable que las del diseño aprobado.

### 7.2 Cambios de temperatura

En los casos en que uno o más componentes o grupos de ellos en una construcción estén sujetos a variaciones de temperatura que puedan introducir esfuerzos significativos en los miembros de la estructura, estos esfuerzos deberán considerarse al revisar las condiciones de seguridad ante los estados límite de falla y de servicio de la misma, en combinación con los debidos a los efectos de las acciones permanentes.

Los esfuerzos debidos a variaciones de temperatura se calcularán como la superposición de dos estados de esfuerzo:

I. Un estado inicial, el que se obtendrá suponiendo los esfuerzos internos que resultan de considerar impedidos los desplazamientos asociados a todos los grados de libertad del sistema. En un miembro estructural tipo barra, es decir, que tenga dos dimensiones pequeñas en comparación con su longitud, este estado inicial consistirá en un esfuerzo axial igual al producto  $E \alpha \Delta t$  donde  $E$  es el módulo de elasticidad del material,  $\alpha$  es su coeficiente de dilatación térmica y  $\Delta t$  el valor del incremento de temperatura. Este esfuerzo será de

compresión si la variación de temperatura es positiva, y de tensión en caso contrario. En un miembro estructural tipo placa, caracterizado por una dimensión pequeña en comparación con las otras dos, el estado inicial de esfuerzos corresponderá a un estado de esfuerzo plano isotrópico, caracterizado por una magnitud idéntica en cualquier dirección contenida en el plano medio del elemento considerado. Dicha magnitud es igual a  $E \alpha \Delta t / (1 + \nu)$  donde

$\nu$  es la relación de Poisson del material y las demás variables se definieron antes. Estos esfuerzos son de compresión si se trata de un incremento de temperatura y de tensión en caso contrario.

II. Una configuración correctiva, que resulte de suponer que sobre la estructura actúa un conjunto de fuerzas iguales en magnitud a las que se requiere aplicar externamente a la misma para impedir los desplazamientos debidos a los esfuerzos internos del estado inicial, pero con signo contrario.

### 7.3 Deformaciones impuestas

Los efectos de las deformaciones impuestas sobre una estructura, tales como las causadas por asentamientos diferenciales de los apoyos o alguna acción similar, se obtendrán mediante un análisis estructural que permita determinar los estados de esfuerzos y deformaciones que se generan en los miembros de dicha estructura cuando se aplican sobre sus apoyos las fuerzas necesarias para mantener las deformaciones impuestas, mientras los demás grados de libertad del sistema pueden desplazarse libremente. Para fines de realizar este análisis, el módulo de elasticidad de cualquier miembro de la estructura podrá tomarse igual al que corresponde a cargas de larga duración. Los efectos de esta acción deberán combinarse con los de las acciones permanentes, variables y accidentales establecidas en otras secciones de estas Normas.

### 6.4 Vibraciones de maquinaria

En el diseño de toda estructura que pueda verse sujeta a efectos significativos por la acción de vibración de maquinaria, sea que esta se encuentre directamente apoyada sobre la primera, o que pueda actuar sobre ella a través de su cimentación, se determinarán los esfuerzos y deformaciones causados por dichas vibraciones empleandolos

principios de la dinámica estructural. Las amplitudes tolerables de tales respuestas no podrán tomarse mayores que las establecidas en la sección 3.

## **8 CIMENTACIONES**

### **8.1 Alcance**

En este capítulo se fijan los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de las cimentaciones de las estructuras.

### **8.2 Definiciones**

Para los propósitos de este Reglamento se adoptarán las siguientes definiciones:

- I. Se llamará cimentación al conjunto formado por la subestructura, los pilotes o pilas sobre los que esta se apoye, en su caso, y el suelo en que aquella y estos se implanten.
- II. Se llamará incremento neto de presión o de carga aplicado por una subestructura o por un elemento de ella, al resultado de sustraer de la presión o carga total transmitida al suelo por dicha subestructura o elemento, la presión o carga total previamente existente en el suelo al nivel de desplante.
- III. Según que tal incremento resulte positivo, nulo o negativo, la cimentación o elemento de que se trate se denominará parcialmente compensado, compensado o sobrecompensado respectivamente.
- IV. Se llamará capacidad de carga neta de un elemento o de un conjunto de elementos de cimentación, al mínimo incremento de carga que produciría alguno de los estados límite de falla que se indican en el Reglamento.

### **8.3 Obligación de cimentar**

Toda la construcción se soportará por medio de una cimentación apropiada.

Los elementos de la subestructura no podrán, en ningún caso, desplantarse sobre tierra vegetal o sobre desechos sueltos. Solo se aceptará cimentar sobre rellenos artificiales cuando se demuestre que estos cumplen con los requisitos definidos en el Reglamento.

### **8.4 Investigación del subsuelo**

Los requisitos mínimos para la investigación del subsuelo en todo sitio en que se proyecte una

cimentación se especifican en la Norma Técnica de Diseño y Construcción de Cimentaciones

### **8.5 Investigación de las construcciones colindantes**

Deberán investigarse las condiciones de cimentación, estabilidad, hundimientos, emersiones, agrietamientos y desplomes de las construcciones colindantes y tomarse en cuenta en el diseño y construcción de la cimentación en proyecto.

### **8.6 Protección del suelo de cimentación**

La subestructura deberá desplantarse a una profundidad tal que sea insignificante la posibilidad de deterioro del suelo por erosión o intemperismo en el contacto con la subestructura.

### **8.7 Estados límite**

En el diseño de toda cimentación se considerarán los siguientes estados límite, además de los correspondientes a los miembros de la subestructura:

- I. De servicio: movimiento vertical medio (hundimiento y emersión) con respecto al nivel del terreno circundante, inclinación media y deformación diferencial. Se considerarán el componente inmediato, el diferido y la combinación de ambos en cada uno de estos movimientos. El valor esperado de cada uno de tales eventos deberá ser suficientemente pequeño para no causar daños intolerables a la propia cimentación, a la superestructura y a sus instalaciones, a los elementos no estructurales, a los acabados, a las construcciones vecinas y a los servicios públicos. Los valores límites serán especificados por las Normas Técnicas Complementarias.
- II. De falla:
  - a) Flotación;
  - b) Falla local y colapso general del suelo bajo la cimentación o bajo elementos de la misma.

Cada uno de estos estados límite de falla deberán evaluarse para las condiciones más críticas durante la construcción, para instantes inmediatamente posteriores a la puesta en servicio de la estructura y para tiempos del orden de la vida útil de la misma.

### **8.8 Acciones**

En el diseño de las cimentaciones se considerarán las acciones señaladas en el Reglamento, así como



el peso propio de los elementos estructurales de la cimentación, las descargas por excavación, los efectos de consolidación regional, los pesos y empujes laterales de los rellenos y lastres que graviten sobre los elementos de cimentación y todas la otras acciones localizadas en la propia cimentación y su vecindad.

La consideración explícita de la consolidación regional será particularmente importante para cimentaciones sobre compensadas o sobre pilas o pilotes.

### **7.9 Resistencias**

La seguridad de las cimentaciones contra los estados límite de falla se evaluará en términos de las capacidades de carga neta.

La capacidad de carga de los suelos de cimentación se calculará por métodos analíticos o empíricos suficientemente apoyados en evidencias experimentales o se basará en pruebas de carga. La capacidad de carga de la base de cualquier cimentación, se calculará a partir de las resistencias medias de cada uno de los estratos afectados por el mecanismo de falla más probable.

Además

- I. La capacidad de carga global de las cimentaciones sobre pilotes o pilas se considerará igual al menor de los siguientes valores:
  - a) La suma de las capacidades de carga de los pilotes o pilas individuales.
  - b) La capacidad de carga de una pila o zapata de geometría igual a la envolvente del conjunto de pilotes o pilas.
  - c) La suma de las capacidades de carga de los diversos grupos de pilotes o pilas en que pueda subdividirse la cimentación.

En los casos a y c será admisible tomar en cuenta la capacidad de carga del suelo en el contacto con la subestructura, cuando esto sea compatible con las condiciones de trabajo de la cimentación.

- II. Cuando en el sitio o en su vecindad existan galerías, grietas, cavernas u otras oquedades, vacías o con rellenos sueltos, estas deberán tratarse apropiadamente, o bien tomarse en cuenta en el análisis de estabilidad de la cimentación.

### **8.10 Factores de carga y de resistencia**

Los factores de carga para el diseño de cimentaciones serán los que se indican en el Reglamento.

Los factores de reducción de la capacidad de carga del suelo de cimentación serán los siguientes para todos los estados límite de falla:

- I. 0.35 para la capacidad de carga de la base de las zapatas de cualquier tipo en la zona I, las zapatas de colindancia desplantadas a menos de 5 m de profundidad en las zonas II y III y los pilotes o pilas apoyados en un estrato resistente.
- II. 0.7 para los otros casos.

En la capacidad de carga de la base de las cimentaciones, los factores de resistencia afectarán solo a la capacidad de carga neta.

### **8.11 Excavaciones**

En el diseño y ejecución de las excavaciones se considerarán los siguientes estados límite:

- I. De servicios: movimientos verticales y horizontales inmediatos y diferidos por descarga en el área de excavación y en los alrededores. Los valores esperados de tales movimientos deberán ser suficientemente reducidos para no causar daños a las construcciones e instalaciones adyacentes y a los servicios públicos. Además, la recuperación por recarga no deberá ocasionar movimientos totales o diferenciales intolerables en las estructuras que se desplanten en el sitio.
- II. De falla: colapso de las paredes de la excavación, falla de los cimientos de las construcciones adyacentes y falla de fondo de la excavación.

En los análisis de estabilidad se considerarán las acciones señaladas en el Reglamento. Además, se considerará una sobrecarga uniforme mínima de 1.5 ton/m<sup>2</sup> en la vía pública y zonas próximas a la excavación, con factor de carga unitario.

Los otros factores de carga serán los indicados en el Reglamento. El factor de resistencia será de 0.7. Sin embargo, si la falla de los taludes, ademes o fondo de la excavación no implica daños a los servicios públicos, a las instalaciones o a las construcciones adyacentes, el factor de resistencia podrá tomarse igual a 0.8.

### **8.12 Rellenos**

Los rellenos no incluirán materiales degradables ni excesivamente comprensibles y deberán compactarse de modo que sus cambios volumétricos por peso propio, por saturación y por las acciones externas a que estarán sometidos, no causen daños intolerables a las instalaciones o a las estructuras alojadas en ellos o colocadas sobre los mismos. Se controlarán las condiciones de compactación de campo, a fin de cumplir las especificaciones de diseño.

Los rellenos que vayan a ser contenidos por muros, deberán colocarse por procedimientos que eviten el desarrollo de empujes superiores a los considerados en el diseño. En el cálculo de los empujes, se tomarán en cuenta las acciones señaladas en el Reglamento y cualesquiera otras que actúen sobre el relleno o la estructura de retención. Se prestará especial atención a la construcción de drenes, filtros, lloraderos y demás medidas tendientes a controlar los empujes de agua.

### **8.13 Instalación de pilotes y pilas**

Los procedimientos para la instalación de pilotes y pilas deberán garantizar que no se ocasionen daños a las estructuras e instalaciones vecinas por vibraciones o desplazamiento vertical y horizontal del suelo. Se cumplirá, además, con los requisitos siguientes:

- I. Los pilotes y sus conexiones deberán poder resistir los esfuerzos resultantes de las acciones de diseño de la cimentación.
- II. Se verificará la verticalidad de los tramos de pilotes y, en su caso, la de las perforaciones previas, antes de proceder al hincado. La desviación de la vertical no deberá ser mayor de 3/100 de la longitud del pilote para pilotes con capacidad de carga por punta superior a 30 ton y de 6/100 para otros.
- III. Cuando se usen pilas con ampliación de base (campana), esta deberá tener un espesor mínimo de 15 cm. En su parte exterior y una inclinación mínima de 60° con la horizontal en su frontera superior.

### **8.14 Memoria de diseño**

La memoria de diseño deberá incluir una justificación del tipo de cimentación proyectado y de los procedimientos de construcción especificados y una descripción de los métodos de análisis usados

y del comportamiento previsto para cada uno de los estados límite indicados en el Reglamento. Se anexarán los resultados de las exploraciones, sondeos, pruebas de laboratorio y otras determinaciones, así como las magnitudes de las acciones tomadas en cuenta en el diseño, la interacción considerada con las cimentaciones de los inmuebles colindantes y la distancia, en su caso, que se dejará entre estas cimentaciones y la que se proyecta.

En el caso de obras que se localicen en zonas donde existan cavernas subterráneas, se agregará a la memoria una descripción detallada de la configuración de las cavidades localizadas y de la forma en que estas fueron tratadas o tomadas en cuenta en el diseño.

## **8 EJECUCION DE OBRAS**

### **8.1 Obligación de efectuar pruebas de carga**

Será necesario comprobar la seguridad de una estructura por medio de pruebas de carga en los siguientes casos:

- I. En edificios para espectáculos deportivos, salas de espectáculos, centros de reunión, clubes deportivos, y todas aquellas construcciones en las que pueda haber frecuentemente aglomeración de personas.
- II. Cuando no exista suficiente evidencia teórica o experimental para juzgar en forma confiable la seguridad de la estructura en cuestión.
- III. Cuando existan dudas a juicio del Departamento en cuanto a la calidad y resistencia de los materiales o en cuanto a los procedimientos constructivos.

### **8.2 Procedimiento para realizar las pruebas**

Para realizar una prueba de carga en estructuras, de acuerdo con la condición de carga ante la cual desee verificarse la seguridad, se seleccionarán la forma de aplicación de la carga de prueba y la zona de la estructura sobre la cual se aplicará. Cuando se trate de verificar la seguridad de elementos o conjuntos que se repiten, bastará seleccionar el 10 por ciento de ellos, pero no menos de tres, distribuidos en distintas zonas de la estructura. La intensidad de la carga de prueba deberá ser igual a la del diseño. La zona en que se aplique será la

necesaria para producir en los elementos o conjuntos seleccionados los efectos más desfavorables.

Previamente a la prueba se someterán a la aprobación del Departamento el procedimiento de carga y el tipo de datos que se recabarán en dicha prueba, tales como de flexiones, vibraciones y agrietamientos.

Para verificar la seguridad ante cargas permanentes, la carga de prueba se dejará actuando sobre la estructura no menos de veinticuatro horas. Se considerará que la estructura ha fallado si ocurre colapso, una falla local o un incremento local brusco de desplazamiento o de la curvatura de una sección. Además, si veinticuatro horas después de quitar la sobrecarga la estructura no muestra una recuperación mínima de setenta y cinco por ciento de sus deflexiones, se repetirá la prueba. La segunda prueba de carga no debe iniciarse antes de setenta y dos horas de haberse terminado la primera.

Se considerará que la estructura ha fallado si después de la segunda prueba la recuperación no alcanza, en 24 horas, setenta y cinco por ciento de las deflexiones debidas a dicha segunda prueba.

Si la estructura pasa la prueba de carga, pero como consecuencia de ello se observan daños tales como agrietamiento excesivo, deberá repararse localmente reforzarse.

Podrá considerarse que los elementos horizontales han pasado la prueba de carga, aun si la recuperación de las flechas no alcanzase el setenta y cinco por ciento, siempre y cuando la flecha máxima no exceda de dos milímetros más  $L^2/(20\ 000\ h)$  donde L es el claro libre del miembro que se ensaye y h su peralte total en las mismas unidades; en voladizos se tomará L como el doble del claro libre.

En caso de que la prueba no sea satisfactoria, deberá tomarse las precauciones necesarias para proteger la seguridad de las personas y del resto de la estructura, en caso de falla de la zona ensayada.

El procedimiento para realizar pruebas de carga de pilotes se incluye en la Normas Técnicas Complementaria de Diseño y Construcción de Cimentaciones.